

重型机械行业 数字化转型发展的研究报告

中国重型机械工业协会编

二〇二三年六月

目 录

| | |
|---------------------------|----|
| 一、国家政策宏观形势分析 | 1 |
| 二、重型机械行业概况及发展现状 | 4 |
| (一) 重型机械行业概况..... | 4 |
| (二) 重型机械行业发展现状 | 4 |
| (三) 重型机械工业特点..... | 5 |
| 三、重型机械数字化转型的问题与建设原则 | 6 |
| (一) 数字转型的问题..... | 6 |
| (二) 重型机械数字化转型原则 | 8 |
| 四、重型机械数字化转型建设方案 | 9 |
| (一) 重型机械数字化工厂 | 9 |
| (二) 重型机械装备智能化 | 17 |
| (三) 智能化运维服务..... | 19 |

一、国家政策宏观形势分析

新冠疫情全球大爆发给人类实体经济带来了前所未有的巨大冲击，也为加速发展数字经济提出迫切而现实的需求。21 世纪以来，美国“先进制造业国家战略”与德国“工业 4.0”引起了全球制造业的产品开发、生产模式和制造价值实现方式的转变，“美国先进制造业国家战略”优先发展先进制造感知控制、智能制造技术平台、先进材料制造，“德国工业 4.0”优先发展智能工厂、智能生产、智能物流。他们不仅提出了未来信息技术与工业、信息化与工业化融合发展的方向，而且开发了信息技术发展到深层次阶段的一种崭新的工业发展模式，其核心在于不断增强企业、行业甚至国家的整体竞争力。当今世界，数字技术不仅逐渐融入经济社会发展各领域全过程，而且正推动新一轮科技革命和产业变革加速演变。习近平总书记强调：“数字经济发展速度之快、辐射范围之广、影响程度之深前所未有，正在成为重组全球要素资源、重塑全球经济结构、改变全球竞争格局的关键力量”。推动数字经济和实体经济融合发展，是完整准确全面贯彻新发展理念，打造数字经济新优势，释放高质量发展新动能的必由之路。

习近平总书记关于“抓住产业数字化、数字产业化赋予的机遇，着力壮大新增长点、形成发展新动能”的战略指引，为我国制造业数字化转型指明了方向。重型装备制造业是国民经济的重要支柱，肩负发展壮大民族装备工业，维护国家国防安全、经济安全和科技安全，代表国家参与全球竞争的责任和使命，是国家经济安全和军事安全的重要保障，是将先进科学技术转化为生产力的主要载体。丁薛祥副总理指出，“中国实施网络强国战略和国家大数据战略，推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合，建设数字中国、智慧化社会，推进数字产业化和产业数字化，做强做优做大数字经济，增强经济发展新动能，为推动高质量发展提供支撑。”重型装备制造业的高质量发展是我国由“制造大国”迈向“制造强国”的坚实根基，是我国经济高质量发展的重中之重。重型装备制造企业数字化、网络化、智能化是振兴制造业、提升中国制造竞争优势的唯一出路。

产业数字化作为数字经济的主要组成部分，制造业特别是以航空、航天、轨道交通装备等为代表的高端装备业，是高质量发展数字经济的重要组成部分。高

端装备行业产值高、供应链广，对产业经济的发展具有非常重要的引领作用，也代表着我国工业的最高科学技术、工艺水平、质量要求。

数字重塑世界，数字领跑未来，数字经济作为引领未来的新经济形态，既是中央企业提质增效的新变量，也是装备制造业高质量发展的新蓝海。近年来，以物联网、大数据、云计算、人工智能、区块链、工业互联网为代表的数字技术加速渗透到制造业的各个环节，成为制造业转型升级的主要路径。无论从产业、企业、产品全生命周期哪个层面看，数字化改造过程都是由一系列相互关联的价值创造活动组成的链式集合，即数字技术应用场景始终跳不出研发设计、生产制造、营销服务、运营管理、规划决策等环节，并伴随应用的深化对这些环节产生深远影响，推动产业、企业及产品朝数字化、网络化、智能化方向发展。

随着智能制造、工业互联网等技术的成熟应用，创新驱动新增长与服务价值链延伸的发展模式是高端装备制造业发展的新动能，也是其转型升级的方向。随着国内制造成本的不断上升，中国高端装备制造业过去依赖人力资源和能源的要素驱动式的发展方式已经到达瓶颈，急需向创新驱动的发展方式转变。重视产品、技术和管理等方面的创新，是实现高端装备制造业升级，逐步实现由对标跟随向自主创新转变的关键环节。“数字重机”是打造世界一流重型机械行业企业、提高管企治企能力的关键手段。进一步提升企业核心竞争力、品牌影响力和抗风险能力，以数字化赋能传统劳动密集型产业实现高质量发展。

随着工业互联网技术的发展，高端装备制造业的未来经济增长点将是综合保障增值服务模式，形成服务型制造。通过先进的物联网技术采集智能装备产品的海量运行数据，应用工业大数据技术，提升产品性能，并对产品全生命周期的健康状态进行管控。通过制造、服务一体化，实现由制造型企业向制造+服务型企业的转型发展。

近几年数字经济加快发展，我国移动通信实现了 2G 跟随、3G 突破、4G 同步、5G 引领的跨越发展，建成了全球规模最大、技术领先的移动通信网络。目前重点工业企业关键工序数控化率达到 58.6%，数字化研发设计工具普及率达到 77%。2022 年软件业收入超过 10 万亿元，工业互联网全面融入 45 个国民经济大类，具有影响力的工业互联网平台达到 240 个。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提出加快推进制造强国、质量强国建设，推动制造业优化升级，深入实施智能制造和绿色制造工程，发展服务型制造新模式，推动制造业高端化、智能化、绿色化；加快数字化发展，建设数字中国，激活数据要素潜能，推进网络强国建设，加快建设数字经济、数字社会、数字政府，以数字化转型整体驱动生产方式、生活方式和治理方式变革；推进产业数字化转型，实施“上云用数赋智”行动，推动数据赋能全产业链协同转型。在重点行业和区域建设若干国际水准的工业互联网平台和数字化转型促进中心，深化研发设计、生产制造、经营管理、市场服务等环节的数字化应用，培育发展个性定制、柔性制造等新模式；加快推动数字产业化，产业数字化转型升级，促进云计算、大数据、物联网、工业互联网、人工智能、区块链、虚拟现实与增强现实等新兴数字技术在产业转型中的应用。

《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》指出：坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，构建新发展格局，紧扣制造业高质量发展要求，以供给侧结构性改革为主线，以智能制造为主攻方向，以数字化转型为主要抓手，推动工业互联网创新发展，培育融合发展新模式新业态，加快重点行业领域数字化转型，激发企业融合发展活力，打造数据驱动、软件定义、平台支撑、服务增值、智能主导的现代化产业体系，全面推进产业基础高级化、产业链现代化，为实现“新四化”的战略目标奠定坚实基础。到 2025 年企业经营管理数字化普及率达 80%；数字化研发设计工具普及率达 85%，平台化设计得到规模化推广。关键工序数控化率达 68%，网络化、智能化、个性化生产方式在重点领域得到深度应用。制造业数字化、网络化、智能化整体水平持续提高。

《“十四五”智能制造发展规划》提出推进智能制造，要立足制造本质，紧扣智能特征，以工艺、装备为核心，以数据为基础，依托制造单元、车间、工厂、供应链等载体，构建虚实融合、知识驱动、动态优化、安全高效、绿色低碳的智能制造系统，推动制造业实现数字化转型、网络化协同、智能化变革。到 2025 年，70%规模以上制造业企业大部分实现数字化网络化，重点行业骨干企业初步

应用智能化；智能制造装备和工业软件技术水平和市场竞争力显著提升，市场满足率分别超过 70% 和 50%；建设一批智能制造创新载体和公共服务平台。构建适应智能制造发展的标准体系和网络基础设施，完成 200 项以上国家、行业标准的制修订，建成 120 个以上具有行业和区域影响力的工业互联网平台。到 2035 年，规模以上制造业企业全面普及数字化网络化，重点行业骨干企业基本实现智能化。

《质量强国建设纲要》指出开展质量管理数字化赋能行动，推动质量策划、质量控制、质量保证、质量改进等全流程信息化、网络化、智能化转型。提出培育以技术、标准、品牌、质量、服务等为核心的经济发展新优势，推动中国制造向中国创造转变、中国速度向中国质量转变、中国产品向中国品牌转变，坚定不移推进质量强国建设。

二、重型机械行业概况及发展现状

（一）重型机械行业概况

重型机械是机械工业的重要组成部分，产品包括冶金机械、重型锻压机械、矿山机械、物料搬运（起重运输）机械、大型铸锻件制造共五大类，32 小类，近 4200 个品种。全行业营业收入近几年占中国 GDP 的 1% 左右，属于较大规模的专业领域。主要为原材料加工、能源电力、交通运输、节能环保、资源循环利用等基础工业提供重大装备和关键零部件。

重型机械行业所制造的装备主要用于下游企业进行矿物开采、选矿、焙烧、冶炼、加工与深加工、搬运与输送等，同时也为核电、风电、航天、船舶和国家大科学装置等提供大型制造设备及大型铸锻件。因此，重型机械工业是关系到国民经济命脉和国家安全的重要产业，是国家实力的体现，是重大技术装备的主力军。

（二）重型机械行业发展现状

上世纪八十年代，重型机械工业抓住“引进技术、合作生产”的时机，坚持消化吸收先进制造技术和管理，产品水平和企业管理得到大大提高。通过几十年的“消化吸收”，“自主创新”方面步伐加快，使重型机械工业跻身世界同行前列。

开发了煤炭井下智能化综采成套设备并得到推广；散料料场堆取料机实现了现场无人智能作业，并出口国外大型港口；在钢厂钢坯、成品钢材库采用桥式起重机+AGV运输车智能进出库成套设备；大型露天矿使用的300吨矿用自卸车，实现了无人操作运行；港口集装箱码头无人装、卸、运、堆成套设备；一键存取车的城市立体停车设备；无人值守的特大型物流仓储系统；矿山或矿井无人自动巡检机器人等。同时，重型机械行业从传统的单机制造已发展为成套装备的提供商和全生命周期系统解决方案供应商，机、电、液、控集成化水平得以快速发展。因此，数字化赋能与智能化升级要求迫切、任务艰巨。

当前重型机械行业智能制造还存在诸多不足，装备智能化与工艺结合还需加深；装备制造企业信息化系统散而乱，各系统各自为政，缺少顶层设计，造成若干信息孤岛，无法实现数据共享和深度挖掘应用，生产协同组织效率不高、生产制造成本难以有效控制、精益生产难以落地，同时存在数据安全风险。

（三）重型机械工业特点

1、重型机械企业是典型的高度离散型制造企业，产品特点是低速重载、超重超限、非标定制、单件小批难以量化生产，尚处于机械化、自动化、数字化并存阶段，产业基础薄弱，系统解决方案供给能力不足，数字化转型难点多。

2、重型机械装备生产流程长、工序多、炼钢、铸造、锻造、热处理、焊接、机加工、装配等生产环节大而全，零件品种多、产品结构复杂，数字化、智能化转型环境更为复杂。

3、城市停车设备、大型仓储物流系统等对运行效率、安全保障等要求越来越高，没有数字化赋能下的智能化升级则无法满足发展要求。

4、重型机械行业整体“大而不强”，有些关键核心技术“受制于人”，同时市场需求多样化，需要制造商更加灵活应变，采用数字化的设计生产组织手段，提升核心技术自主创新能力、有效节省资源、控制制造成本、高效组织生产、缩短制造周期，保持最高的质量和运营效率。

5、装备能效水平较低，需在高效、绿色、节能方面创新发展，推动重型装备及装备制造高质量发展。

6、企业内部各部门信息化、智能化、数字化发展不平衡，信息孤岛多，整体

协同效果有待提高。

重型机械产品的高度复杂性、高度离散性、高度定制化、生产周期长等典型特征，导致装备制造企业的管理远比其他行业的管理复杂的多。设计方案、报价会根据客户的需求不断的调整修改；生产过程追溯管理困难，很难做到透明化生产；物料齐套管理难度大，经常会因为个别物料的短缺导致发货延迟，影响客户交付；设计、生产、质量、交付等多部门协同困难；客户现场交付安装进度不可控，售后维护成本高；与此同时企业还面临着客户高质量、低成本、短周期的要求。这些都成为重型装备企业的更高效发展的障碍。

三、重型机械数字化转型的问题与建设原则

（一）数字转型的问题

从“信息化”、“数字化”到“数字化转型”是一个信息技术赋能不断进化的过程。信息化指的是从模拟信息向数字信息转变，以数字形式提供和获取信息；数字化则是在信息化的基础上在流程中应用数字化信息，让工作数字化、标准化。相较于信息化，数字化强调基于信息数据反哺业务，业务进一步促进系统迭代优化。数字化转型，则侧重于基于数字化创造新的商业概念，诞生新的商业模式，促进整个行业层面的转型升级。

由于重型机械企业组织、业务、产品和价值链的复杂性，为企业的数字化转型带来诸多障碍。事实上，数字化转型不是单项技术的应用，也不仅仅是一个技术命题，更是一个战略和管理命题。因此，重机企业需要深度剖析数字化转型的需求和突破口，建立明确的数字化转型路线图。如果没有清晰的数字化转型战略，把各种时髦的数据库、互联网、物联网相关技术“囫圇吞枣”地应用，不仅起不到真正提升企业核心竞争力的效果，还有可能投资巨大，收益甚小，甚至搬起石头砸了自己的脚。

重型装备制造业数字化转型发展，就是依靠云计算、大数据、物联网、工业互联网、区块链、人工智能、虚拟现实和增强现实等新兴数字化技术，紧扣制造业高质量发展要求，以智能制造为主攻方向，以重型机械研发设计、工艺、生产制造、经营管理、市场服务等环节为核心，以数据为基础，依托制造单元、车间、

工厂、供应链等载体，构建虚实融合、知识驱动、动态优化、安全高效、绿色低碳的数字化制造系统，培育发展个性定制、柔性制造等重型机械制造新模式，推动重型机械制造业实现数字化转型、网络化协同、智能化变革，赋能传统产业转型升级。

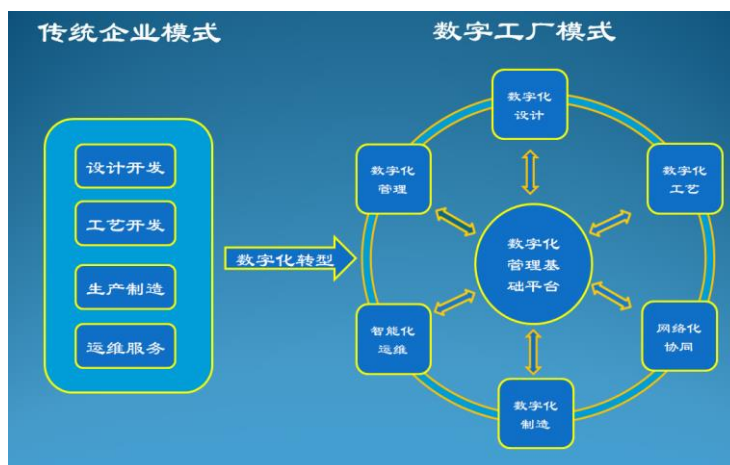


图 1 企业数字化转型模型

通过先进的物联网技术采集智能装备产品的海量运行数据，围绕重型机械装备领域，建设数字化车间和智能工厂，构建面向重型装备全生命周期的数字孪生系统，应用工业互联网、大数据技术，推进基于模型的系统工程（MBSE）规模应用，提升产品性能，实现产品全生命周期的预测性维护与健康状态管控。通过制造、服务一体化，实现由生产型企业向服务型企业方向转型发展。

具体来说，重型机械行业企业推进数字化转型需要注意以下问题：

1、企业领导层没有意识到数字化转型的必要性和复杂性，观念还停留在部署常用的 IT 系统。实际上数字化转型远远不是 IT 部门能够实现的，必须由企业的决策层引领，自顶向下推进。

2、企业已经应用了诸多信息系统，但是孤岛纵横，基础数据不准确，编码体系不统一，推进数字化转型无从下手。

3、不少企业认为推进自动化系统能够更加立竿见影，普遍存在重自动化、轻数字化的状况。在很多企业更加重视产线的自动化和少人化，造成设备联网和数据采集的基础差。

4、重型机械制造企业的利润率较低，推进数字化转型往往缺乏足够的投入资金。企业投资推进数字化转型没有取得显著效果，制约了企业进一步推进数字化

转型的动力。

5、重型机械的各个细分行业差异很大，处在各个产业链中不同位置的企业个性化很强，数字化转型的突破口也各不相同，并没有可以直接照搬的模板。

(二) 重型机械数字化转型原则

重型机械行业要推进数字化转型，必须明确数字化转型战略，制定数字化转型规划，然后落实各项措施并使规划的目标落地。应遵循以下原则：

1、紧扣制造+服务的转型发展思路，按照企业产品全生命周期服务的理念统筹规划产品生产制造全流程的各个数字化模块，使其形成系统高效、精益控制、应变快捷的高效数字化集成系统。

2、重型机械企业数字化转型是长期的、高投入的提质增效活动，必须以优质、高效、少人化、无人化、无纸化、低碳化生产为目的，坚持整体规划、软硬结合（软件和硬件同步适配）、循序渐进、分步实施的原则，依托智能制造单元、智能产线、智能车间、智能工厂、智能供应链逐步推进，切忌对不合企业实际“高大上”的盲目追求。

3、根据企业产品制造特点，从整体的角度优化产品制造流程，加强顶层设计规划，企业内部设计、工艺、财务、营销、生产、计划、采购、人力资源、设备管理等主要业务系统模块要求统一规划、统一建设、统一标准、统一接口，实现业务协同和数据共享。

4、建立统一的企业基础数字化技术平台，建设统一的企业级数据中心、企业级专家知识库，进一步提高各项数据的处理能力和分析利用效率，利用云平台、云计算等技术支撑公司核心业务稳定运行。

5、开展资源能源和污染物在企业设计、生产、使用流程全过程动态监测、精准控制和优化管理，推动碳减排，助力实现碳达峰、碳中和。

6、重视企业供应链数字化管理，形成供应商、制造商、代理商、物流服务商、终端客户共赢的全新模式。变革现有“低价中标”的规则，实现整体供应链可视化，管理信息化，整体利益最大化，管理成本最小化，从而提高产品质量和服务水平。打造数据互联互通、信息可信交互、生产深度协同、资源柔性配置的供应链。

7、开展“工业互联网+安全生产”建设，加大工业互联网建设投入，加快安全生产要素的网络化连接、平台化汇聚和智能化分析。构建安全生产快速感知、全面监测、超前预警、联动处置、系统评估的新型能力体系。

8、根据企业特点和重型机械行业发展要求，建立符合行业数字化转型发展要求的重型机械行业数字化标准化体系和数据治理体系，构建符合企业特色的信息安全立体防护体系，为数字化转型筑牢安全防线。

四、重型机械数字化转型建设方案

重型机械制造企业主要业务涉及：科技研发与服务、先进装备制造、工程承包与供应链等，重型机械数字化转型建设主要有两个方面：①采用数字化技术对重型装备制造流程重塑，高效制造出高性能的重型装备，更好的服务于国家关键重点行业；②采用数字化设计手段研制出达到世界先进水平的高质量的国家急需的重大技术装备，满足国民经济发展需求，解决国家“卡脖子”的重大技术难题。重型装备制造行业智能制造解决方案，通过将新一代信息技术与重型装备制造行业的先进制造技术进行深度融合，实现对研发、工艺、制造、管理的一体化理念，为重型装备制造行业信息化和工业化的深度融合不断提供理念、组织、方法和工具，并不断提升企业的产品质量、效益、服务水平，推动企业的创新、绿色、协调、开放、共享发展。

（一）重型机械数字化工厂

重型机械制造业数字化工厂集成系统主要由以下几部分组成（如图 1）：数字化管理基础平台、数字化研发设计平台、数字化工艺设计平台、数字化管理平台、网络化协同系统、数字化制造管理平台（MES 系统）、智能化企业及产品运维平台等。

1) 数字化管理基础平台

数字化管理基础平台是企业数字化管控的中心和大脑中枢，承担全公司海量数据（产品技术数据、管理数据、财务数据、视频数据、专家知识库数据）的采集、管理、储存、更新、挖掘调用、分析计算、可视化计算及调用、授权访问、安全备份等功能（见图 2）。一般采用私有云平台，利用虚拟化、云计算、数字孪

生等技术支撑公司核心业务稳定运行，保证各项数据的处理能力和效率。

产品技术数据：设计图纸、仿真试验、工艺、加工、质量、物料管理、产品运维等过程的技术指导文件。

管理数据：产品研发管理、生产计划、加工制造、经营销售、储存运输、设备管理、人力资源管理形成的数据。

财务数据：经营活动中所有有关财务需要的中间财务数据及实时财务数据。

视频数据：企业运行有关现场管理、安全管理等监控视频数据。

企业知识库数据：与企业设计、工艺、管理、产品服务有关的国家标准、规范、制度、经验知识、企业内控指标等。



图2 数字化管理基础平台数据

2) 数字化研发设计平台

针对重型机械行业定制化设计、产品结构复杂、项目设计参与人员多、异地协同设计等特点，打造适合重型机行业的数字化设计平台，采用二维/三维设计技术开展产品的设计、仿真/试验研究分析，采用产品数据管理系统 PDM (ProductDataManagement) 实现所有产品相关信息 (包括零件信息、配置、文档、二维/三维图纸文件、结构、权限信息、研发云平台等) 管理、产品设计过程管理 (零部件管理、图文档管理、产品 BOM 表管理、远程协同设计、研发计划管理、设计变更状态管理)，为实现产品的全生命周期管理做好基础数据，最终实现车间无纸化设计、生产一体化 (见图 3)。

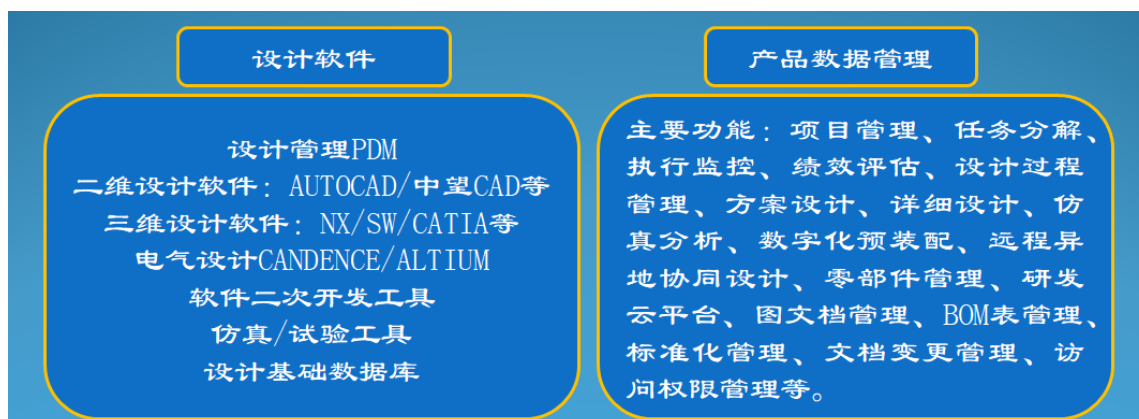


图3 数字化研发设计平台

依托工业互联网平台，实现高水平高效率的轻量化设计、并行设计、敏捷设计、交互设计和基于模型的设计，变革传统设计方式，提升研发质量和效率。发展平台化、虚拟化仿真设计工具，培育平台化设计新模式，推动设计和工艺、制造、运维的一体化，实现无实物样机生产，缩短新产品研发周期，提升产品竞争力。

3) 数字化工艺设计平台

数字化工艺设计平台，与设计平台紧密配合，基于产品的三维模型，充分利用工艺知识专家库，对产品的制造与装配工艺过程进行仿真分析，提高设计、制造协同效率与质量，为下道工序提供结构化、可视化的三维工艺数据，并以三维工艺来指导生产现场的加工与装配，为生产制造等内部业务系统的数字化和智能化提供支撑。通过数字化工艺平台，可以有效组织企业生产工艺过程卡片、零件蓝图、三维数模、刀具清单、质量文件和数控程序等生产作业文档，实现车间无纸化生产。（见图4）

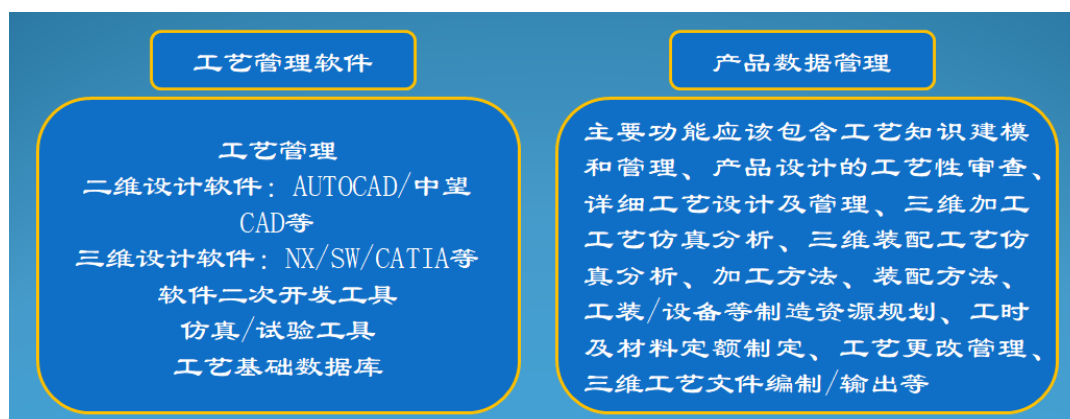


图4 数字化工艺设计平台

4) 数字化管理平台



图5 数字化管理平台

数字化管理主要包含企业产品设计、工艺、ERP、OA 办公、MES 系统、供应链、财务管理系统组成的企业管理平台，是对企业物料流、资金流、信息流进行全面一体化管理的数字化管理系统。是将企业设计工艺、生产控制、物流管理、财务管理、人力及设备资源管理等所有分系统，通过标准统一的接口有机整合集成在一起，利用大数据分析技术对海量数据的分析、评估，为企业决策提供依据。对于不同的管理角色设置相应的数据访问权限，可以调用、查看、分析权限内的相关数据、实时报表等，监控相关经营活动，及时调整生产经营策略。（见图5）

打通企业数据链，通过智能传感、物联网等技术推动全业务链数据的实时采集和全面贯通，构建数字化供应链管理体系，引导企业打造数字化驾驶舱，实现经营管理的可视化和透明化。鼓励企业基于生产运营数据重构战略布局、运营管理和市场服务，形成数据驱动的高效运营管理模式，提升智能决策、精益制造和精准服务能力。

5) 网络化协同

网络化协同主要是负责管理、控制、协调整个企业信息化系统网络的正常运行及信息安全，通过信息化网络系统，将企业科研、工艺、财务、营销、采购、制造、人力资源各子系统有机联系整合在一起，统一标准、统一接口、统一数据类型，夯实对各业务系统的支撑作用，对业务系统进行连接融合，协同联动，建设敏捷的辅助决策、精益化运营管控、数字化产品开发、智能化制造执行、集成

化基础应用等执行平台，整合已有的研发、财务、营销、制造、供应链、物流、人力资源、OA 办公、企业微信等所有主营业务系统模块，优先解决“信息孤岛”、“数据壁垒”、“资源分散”等问题，打通业务系统底层数据，实现数据相通和资源共享，支撑集团管理数字化。

促进企业间的数据互通和业务互联，推动供应链上下游企业与合作伙伴共享各类资源，实现网络化的协同设计、协同生产和协同服务。推广云化设计软件（CAX）、云化企业资源计划系统（ERP）、云化制造执行系统（MES）、云化供应链管理系统（SCM）等新型软件工具，共享设计模型、生产数据、用户使用信息、产品数据库等，基于工业互联网提升制造资源配置效率。

6) 数字化制造管理平台（MES 系统）

重型机械企业属于单件小批订单式生产，利用基于模型的数字化企业生产制造执行系统 MES（manufacturing executions system）建立符合行业企业特点的高效精益制造模式，实现企业设备自动化、管理数字化、生产精益化、人员高效化，提升生产过程的执行性和透明化程度、提高生产资源有效配置和产品质量、减少甚至消除生产过程浪费、降低生产成本投入，增强企业的生产制造综合水平和管理能力。

通过系统的实施，生产方式发生质的变化：①生产从被动指挥向实时调度转变；②质量从事后抽检向在线控制转变；③资源从被动供应向主动供应转变；④成本从事后核算向过程控制转变；⑤管理从粗放型向质量型转变。



图 6 企业数字化制造管理平台架构

企业通过构建适合自身特点的 MES 系统可以实现：通过生产过程监控和生产实绩反馈；生产实时计划管理；设备动态管理及监控；生产调度和应急指挥系统；质量过程管控；备件库存优化管理；物料动静态管理；能源消耗管理；成本实时管理；安全预警管理；实时报表生成系统；系统网络及数据安全。 (见图 6)

通过生产过程监控和生产实绩反馈：生产过程监视侧重于生产流程和工艺过程之间物料输送、质量指标的监控。它以生产过程的实时数据为基础，利用 MES 系统的组态技术，实现对生产车间、动力能源车间、辅料库、成品库等生产区域的生产进度、工艺质量、物料消耗情况进行实时监控。生产过程监控系统发现异常时可以按照预先设置做出报警。帮助企业的生产指挥调度部门进行生产协调、合理调度，提高生产的快速反应能力。

生产实时管理：在生产过程监控的基础上，生产管理就是在生产计划的指导下，根据各行业生产工艺特点组织协调生产，跟踪生产过程数据，考核各项生产指标。并通过数据分析，优化生产过程。实现计划的编制、跟踪，生产数据的分析以及考核管理等。管理者能够实时掌握全厂的投入和产出，优化决策生产，借此最大可能缩短生产时间，减少失误，降低手工和重复录入数据的相关成本。主要功能包括生产计划管理、生产组织、车间考核和人员管理、生产数据分析等子系统。

设备动态管理与监控系统可以实现对设备资源的跟踪、优化和监控。①资源追踪：通过工厂建模实现资源定位，实现设备的使用规范、安全规程的信息化管理；实现设备维修、维护管理，建立设备故障维修的操作员申报和维修记录流程，通过与 ERP 或资产管理系统的衔接完善设备故障维修和计划维修记录，实现设备维修、点检跟踪管理；②资源优化：设备运行分析，系统使用自动化系统中设备运行状态数据，对设备的开停次数、净运行时间、运行负载分布（设备空转、低负载、正常负载、超负载的累计时长）进行统计，实现生产能力分析、设备故障率分析、设备 OEE 分析、设备运行记录统计分析、设备维修统计分析等；③设备状态监控：在设备管理基础上，实现远程监控设备状态，包括设备运行状态、关键参数变化趋势、设备安全、润滑、温度等，统计设备运行效率、运行成本，计

算易损件更换时间等。

生产调度和应急指挥系统：①生产调度的职责是合理组织企业的生产活动，保证生产计划的实现。系统根据来自物料跟踪系统提供的实时信息，依据调度规则或操作人员的判断，以自动或人机交互的方式执行或修正生产作业计划，更新并下发生产指令。②应急指挥系统主要作用于发生事故时，为安全抢险提供应急预案查询，事故处理专家组、抢险队伍、等人力资源，应急资源保障以及模拟演练等系统功能。

质量过程管控：根据质量检验标准，实时采集来自生产现场自动化系统的质量数据，当发现生产过程有质量问题时，MES系统产生质量异常报警，生产管理人员根据质量控制网，找到关键工艺环节，或者关键质量人员，缩减质量问题的分析过程，加快质量异常的处理速度，提高全员质量意识，保证产品质量。MES系统的质量管理功能包括：质量标准管理、过程质量控制、检测数据采集、质量统计分析、质量指标考核等功能。

备件库存优化管理：备件管理主要目标是以最低库存保证设备维修所需，以最短时间为设备现场提供维修配件，以最正规的管理提供备件全生命周期跟踪。系统主要包括以下功能：备件需求管理；备件计划管理；备件跟踪管理；备件库存管理；备件消耗分析。

物料动静态管理：①物料跟踪：MES系统可以根据生产线上采集到的实时生产数据，对在制品流动过程进行跟踪，包括物料移动、物料转换、物料拆分、物料合并、物料消耗等相关操作。用户在MES系统可以查询在制品的位置、数量等信息。MES系统能够实现产品后溯和前溯功能。对于最终产品的物料批，可以查询出使用了哪些批次的原材料、中间物料，以及该物料的数量和特征。对于原材料的批次，可以查询到哪些最终产品使用了该批物料。②物料静态管理：区域管理主要是对物料静态化的管理，包括原料计划，原料、成品和料场管理，库存管理，原料消耗管理等。

能源管理系统：能源管理系统可以实时监控生产过程的能源状况，有效控制能源消耗，便于及时发现耗能症结，及时采取节能措施，及时调度指挥，及时操作，达到最大限度的减少生产能耗，降低生产成本。能源管理主要实现能源信息

自动化处理、能源信息表格和图形化分析、能源信息动态查询。

成本实时管理：建立以职能部门、作业区集中管理为纲，以各主控工序为驻点的纵横交错的成本控制网络；做到成本周核算，周分析；成本日核算，日分析；实现全方位的成本数据分析管理，对各类成本数据提供各类报表、查询、直观的进行图表图形对比分析，保存历史数据。

安全预警管理：安全管理在不同企业中有不同的侧重要求，并采用不同的设备和系统与《安全管理软件系统》共同组成一个安全管控网络，实现安全生产。安全管理系统包括如下一些功能：环保设施档案管理；安全隐患管理；安全考核管理；事故处理；安全培训管理；放射源管理；职业病管理。

实时报表生成系统：报表系统是 MES 各系统的输出数据，也是系统之间的数据接口，是数据源整合的重要手段，报表涵盖 MES 所有的业务内容，包括排程调度、设备、质量、物料、人员考核、工艺指标等（也包括 MES 与 ERP 系统之间的数据接口）。数据源主要来自 MES 系统数据库。通过语义层将数据库字段重组为面向用户的对象，在此基础上实现报表功能。

系统网络及数据安全：MES 系统作为生产管理的主体将承载非常重要的生产组织任务，因此系统的安全和可靠性非常重要。在系统中主要利用如下功能达到安全可靠的目的：数据冗余存储；自动的定期数据备份功能；异地容灾系统；身份认证与权限管理；高反应速度系统报警提示；系统日志提供安全记录；防火墙和病毒隔离措施。

重型机械企业生产制造环节大而全（从炼钢、铸造、锻造、热处理、焊接、机加、装配、现场安装、调试培训、技术服务等），零件品种多、产品结构复杂，单件小批难以组织量化作业等。通过应用三维仿真设计和工艺、柔性制造、智能仓储物流、物联网、大数据分析等技术，优化设计、工艺、制造、物流、自动加工、装配、质检等整个业务流程的资源合理均衡利用，实现重型机械装备现代化、操作自动化、设计工艺数字化、管理信息化，同时实现设备运行状态、生产过程管控、能耗等数据采集与分析。

不同企业根据自身智能制造发展水平确定自身智能制造提升策略，着力提升企业信息技术应用能力，加快生产制造全过程数字化改造，推动智能制造单元、

智能产线、智能车间建设，实现全要素全环节的动态感知、互联互通、数据集成和智能管控。推动先进过程控制系统在企业的深化应用，加快制造执行系统的云化部署和优化升级，深化人工智能融合应用，通过全面感知、实时分析、科学决策和精准执行，提升生产效率、产品质量和安全水平，降低生产成本和能源资源消耗。

(二) 重型机械装备智能化

随着钢铁、化工、基建、能源资源、物料输送、航天航空等行业数字化的迅猛发展，对重型装备的数字化、智能化提出了更高的要求，重型装备的远程运行监控、故障诊断及预警、全生命周期健康管理将成为设备的标准配置，同时针对不同的工况条件、工艺要求，开发出个性化的智能化功能，实现应用场景的少人、无人、高效、绿色、高可靠性的发展要求。

1) 矿山装备智能化

针对矿产资源采选作业工况恶劣、危险系数高，围绕矿产资源“三率”（开采回采率、选矿回收率、共伴生资源综合利用率）的提高，研究开发矿山装备的少人化、无人化、智能化、绿色化作业是矿山装备今后的发展方向，是矿山高质量发展的必经之路。

露天矿山无人驾驶矿卡可以实现铲、车配合装载、路径自动规划、自动避障、自动卸载、自动对位、坡道行驶自动加减速等功能。

无人驾驶钻机可以实现钻孔自动定位、自动钻孔、自动接卸钻杆等功能。

无人挖掘机可以实现自动识别挖掘工作面、挖掘轨迹优化、远程挖掘，最后实现无人挖掘。

综采设备三机一架实现成套控制自动化、自动定位、自动纠偏、成套装备的无人或远程操控作业、采掘路径自动优化、自动支护及推进作业等。

巷道掘进设备的掘、钻、锚三位一体机实现无人全自动作业。

矿山无人巡检机器人、维护检修机器人开发。

围绕破碎选矿流程高耗能高污染状况，开展新型破碎选矿工艺流程和设备的开发研究，实现破矿、磨矿、选矿智能、高效、绿色发展，提高选矿回收率和共伴生资源综合利用率。

2) 冶金锻压装备智能化

数字化转型重点

未来若干年，中国钢铁行业将着力构建“双循环”发展新模式，深化供给侧结构性改革，调整钢铁产业结构，通过流程再造、数字化转型，走上一条从“粗放型”向“精益型”的发展道路，高附加值产品比重逐步增加，加快从产钢大国向世界钢铁强国发展。同时，加强环境保护治理，加大节能减排改造力度，推动绿色低碳高质量发展；着力提质增效，强化产业发展。推动绿色、低碳、高质量发展。

针对钢铁冶金行业数字化转型发展机遇，聚焦钢铁行业设备维护低效化、生产过程黑箱化、下游需求碎片化、环保压力加剧化等痛点，以满足新工艺为切入点，开展高性能冶金成套装备的研发，加速冶金锻压装备的智能化、数字化升级。

冶金装备主要包括：炼铁设备、炼钢设备、轧制机械、铸造设备、轧辊金属专用设备零件，其生产特点为成套控制、连续生产，钢铁行业向设备运维智能化、生产工艺透明化、供应链协同全局化、环保管理清洁化等方向数字化转型。

每个单台冶金设备必须满足生产线的工艺要求，因此冶金设备围绕设备状态的预知、预判、预防，现场运行的可视、可控、可管方向发展，成套设备互动、互联、互通，打造生产线的智能运维中心、管控中心，构建数字化冶金运营服务新发展模式。

围绕钢厂智慧制造、黑灯工厂、无人库区、数字车间、一键炼钢、连铸、连轧过程智能精准调控等要求，加快成套冶金装备智能化步伐，实现成套冶金装备与钢铁企业需求无缝衔接，提供高效智能化成套装备。

3) 起重运输装备智能化

起重运输机械是广泛应用于国民经济各行业的机械设备，主要有大吨位桥机（配合炼铁、炼钢系统进行钢水的转运起吊工作，也用于钢厂的钢坯、钢锭、钢卷起吊转运）、门机、港口用各种起重设备（港口码头集装箱装卸、散料装卸）、散料输送设备（带式输送机）、大型仓储物流系统、城市停车设备等。为了满足无人作业、高效运行和保障安全新标准要求，必须通过数字赋能实现智能化升级，在建设黑灯工厂、无人库区、数字车间、智慧工厂和自动化无人码头作业中扮演

重要关键角色。

结合各行业的工艺作业特点要求，起重机的智能化方向主要有起吊物防摇摆自动控制、精准定位、起吊路径自主规划、自动夹装吊具、无人值守、无人操作、安全防碰撞控制、远程控制等。

运输机械广泛应用于国民经济各行业，重型机械行业主要以大型胶带输送机为主，应用于矿山、钢厂、码头等长距离、高带速、大运量的散料运输工作。

大型胶带输送机的智能化高效、安全、节能、绿色发展研制工作，主要有：无人值守、远程运行监测、运量与带速的协同节能控制、数字孪生、智能机器人巡检、滚筒打滑、胶带自动张紧、转载点防堵料、胶带防跑偏、胶带防撕裂、火灾预警、粉尘监测与控制等方面。

（三）智能化运维服务

推动工业企业产品供应和服务链条的数字化升级，从原有制造业务向价值链两端高附加值环节延伸，发展设备健康管理、产品远程运维、设备融资租赁、共享制造、供应链金融、总集成总承包等新型服务，实现从单纯出售产品向出售“产品+服务”转变。鼓励工业领域工程服务商深化数字仿真、制造信息建模（MIM）等新技术应用，提升工厂建设和运维的数字化水平，实现从交钥匙工程向“工程建设+运维服务”转变。

针对跨工厂跨地域远程诊断、设备维护、效率与安全提升等问题，借助在设备上加装转速、温度、振动、噪声等传感器和运行数据检测系统，通过 5G 物联网通信模块，将采集到的运行数据发送到云端，进行大数据分析。基于边缘计算、云端计算、数据分析，结合设备异常模型、专家知识模型、设备机理模型，对产品运行趋势分析后，形成产品体检报告，提出预测性维护与维修建议，构建高效运营的重机装备远程运维智慧平台。



图7 智能化运维平台

建设企业数据库和数字化服务平台即智能化运维平台（见图7），是重型机械行业进行全生命周期管理实现服务增值的重要途径，但目前还在探索之中，许多企业投入回报没有达到预期，这是发展初期的正常现象，企业家应该有足够的信心和毅力，方能使智能运维服务得以稳健快速发展。

各项数字技术与制造业呈现出不同程度的融合。工业互联网与产业数字化转型发展的融合，形成了平台化设计、智能化制造、个性化定制、网络化协同、服务化延伸、数字化管理等典型融合应用模式。目前在制造业数字化赋能方面原材料工业和物流工业等领域效果显著，对于其他领域具有重要示范作用，因此，重型机械行业实现“数字产业化与产业数字化”任务艰巨但前景广阔。

本文意在提出一些“关于重型机械行业数字化赋能与智能化升级”的基本看法，供大家参考，并引起高度关注！